



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Elektroenergetika
Modul: Elektroenergetska učinkovitost in električne
instalacije

**NADGRADNJA DOMAČE SONČNE
ELEKTRARNE IN SMOTRNOST REZANJA
KONIČNE MOČI**

Mentor/-ica: dr. Viktor Lovrenčič
Lektor/ica: Tjaša Brinovec Obolnar, prof. slov.

Kandidat/-ka: Miha Požun

Šmartno pri Litiji, maj 2026

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju dr. Viktorju Lovrenčiču.

Zahvaljujem se tudi lektorjici Tjaši Brinovec Obolnar, ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

Posebna zahvala pa gre moji ženi, ki me je nenehno spodbujala pri pisanju diplomske naloge. Hvala tudi hčerki, ki mi je pomagala pri izdelavi kazal in označevanju slik. Ter zahvala vsem, ki so verjeli vame, da bom diplomsko nalogo napisal.

IZJAVA

Študent Miha Požun izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal/a pod mentorstvom dr. Viktorja Lovrenčiča.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole in v institucionalnem oz. nacionalnem repozitoriju (COBISS).

Dne: 14. 5. 2026

Podpis: _____

POVZETEK

V diplomski nalogi obravnavamo problem nezadostne letne proizvodnje električne energije iz domače sončne elektrarne ter predstavljamo postopek njene nadgradnje. Ključno omejitev je predstavljalo izdano soglasje za priključno moč 13,6 kW, ki ga zaradi izgube celoletnega sistema neto merjenja nismo želeli spreminjati. Ob tem smo imeli že nameščenih 14,16 kWp DC nazivne moči fotovoltaičnih modulov.

Pred nadgradnjo, ki jo obravnavamo v tej diplomski nalogi, smo izvedli že tri manjše nadgradnje sistema, zato so bili vgrajeni razsmerniki treh različnih proizvajalcev. Eden izmed glavnih ciljev nadgradnje je bila stroškovna učinkovitost ter povečanje letne proizvodnje električne energije, izražene v kWh. Ob tem smo se, kjer je bilo to mogoče, želeli izogniti investiciji v drag baterijski hranilnik električne energije.

Zaradi več zaporednih nadgradenj je nastal tehnično heterogen sistem, ki ga ni bilo mogoče enostavno združiti v celovito in učinkovito rešitev energetskega upravljanja oziroma limitiranja moči. Posledično je bila nadgradnja domače sončne elektrarne tehnično zahtevna in netipična.

Kot najprimernejša rešitev se je izkazala nadgradnja s fizično limitacijo moči na AC strani sistema, kar je privedlo do nadpovprečno visokega razmerja DC : AC, ki znaša 1,865 : 1 in odpira vprašanje o količini porezane energije. Izgubljeno energijo smo finančno ovrednotili, analizirali argumente za in proti rezanju konične moči ter na podlagi izračunov presodili smiselnost takšne nadgradnje.

Ugotovili smo, da je rezanje konične moči lahko tudi koristno, saj pozitivno vpliva na elektroenergetsko omrežje. Nadgradnja sončne elektrarne z rezanjem konične moči omogoča znatne prihranke, saj je investicija cenejša, hkrati pa ta denarni vložek zagotavlja večjo letno proizvodnjo električne energije v primerjavi s prvotno zasnovo sončne elektrarne.

KLJUČNE BESEDE

- Nadgradnja sončne elektrarne
- Neto merjenje
- Rezanje konične moči
- DC : AC razmerje
- Letna proizvodnja električne energije

SUMMARY

This thesis addresses the issue of insufficient annual electricity production from a residential photovoltaic power plant and presents the approach taken to upgrade the system. A key constraint was the granted grid connection approval of 13.6 kW, which we did not intend to modify due to the potential loss of the annual net metering scheme. At the same time, the system already included 14.16 kWp of installed DC-rated power from photovoltaic modules.

Prior to the upgrade discussed in this thesis, three minor system upgrades had already been implemented, resulting in the installation of inverters from three different manufacturers. One of the main objectives of the upgrade was to achieve cost efficiency while maximising the annual electricity production expressed in kilowatt-hours (kWh). Wherever possible, the intention was to avoid investment in an expensive battery energy storage system.

Due to multiple previous upgrades, the resulting system became technically heterogeneous and could not be easily integrated into a unified and efficient energy management or power limitation solution. Consequently, the upgrade of the residential photovoltaic system was technically complex and atypical.

The most appropriate solution proved to be an upgrade with physical power limitation on the AC side of the system, which resulted in an above-average DC:AC ratio of 1.865:1. Such a configuration raises concerns regarding the amount of clipped energy. The clipped energy was financially evaluated, and arguments for and against peak power clipping were analysed in order to assess the feasibility of this type of upgrade.

The results show that peak power clipping can also be beneficial, as it has a positive impact on the electrical power grid. Upgrading a photovoltaic system with peak power clipping enables significant cost savings, as the investment is lower while providing a higher annual energy yield per invested euro compared to the original photovoltaic system design.

KEYWORDS

- Photovoltaic system upgrade
- Net metering
- Inverter power clipping
- DC-to-AC ratio
- Annual energy yield

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge.....	1
1.3	Predstavitev domače sončne elektrarne	1
1.4	Predpostavke in omejitve	2
1.5	Metode dela	4
2	SPLOŠNO O VGRAJENI OPREMI	5
2.1	Predstavitev domače sončne elektrarne in njene dogradnje.....	5
2.2	Pregled možnosti nadgradnje; prednosti, slabosti in omejitve	11
2.2.1	Prostor.....	11
2.2.2	Nadgradnja z mikroinverterji Enphase	12
2.2.3	Nadgradnja centralnega razsmernika SolarEdge.....	14
2.2.4	Nadgradnja z mikrorazsmerniki Letrika.....	14
3	ZASNOVA NADGRADNJE	16
3.1	Zasnova nadgradnje s pomočjo orodja SolarEdge Designer	16
3.2	Finančna analiza obstoječe elektrarne	20
3.3	Finančna analiza nadgradnje elektrarne	21
3.4	Primerjava finančnih analiz	22
4	SMOTRNOST REZANJA KONIČNE MOČI	24
4.1	Pravila predimenzioniranja.....	25
4.2	Vpliv na elektroenergetski sistem.....	28
4.3	Povzetek raziskave	30
5	ZAKLJUČKI	31
6	LITERATURA IN VIRI	33

KAZALO SLIK

Slika 1: Rezanje konične moči.....	3
Slika 2: Domača hiša s sončno elektrarno po 1 nadgradnji.....	6
Slika 3: Domača hiša s sončno elektrarno po 3 nadgradnji.....	7
Slika 4: Prikaz proizvodnje mikroinverterjev IQ7+ v letu 2022.....	8
Slika 5: Proizvodnja energije na solarni modul	11
Slika 6: Prostor za nadgradnjo solčne elektrarne na stanovanjski hiši	12
Slika 7: Mikroinverter IQ7+ proizvajalca Enphase.....	13
Slika 8: Sončna elektrarna izvedena z mikroinverterji proizvajalca Letrika.....	15
Slika 9: Sončna elektrarna prva idejna zasnova	16
Slika 10: Sončna elektrarna prva idejna zasnova	17
Slika 11: Y kos MC4 solarnega konektorja – združevanje dveh nizov	19
Slika 12: Spletni dokument SolarEdge o dimenzioniranju	26
Slika 13: Prikaz izračuna porezane energije	27
Slika 14: Nadgradnja domače sončne elektrarne	28
Slika 15: Rezanje konične moči po nadgradnji	29

KAZALO TABEL

Tabela 1: Podatki vgrajene opreme pred zadnjo nadgradnjo.....	11
Tabela 2: Možne nadgradnje v Wp in kWh	18
Tabela 3: Finančna analiza obstoječe elektrarne.....	20
Tabela 4: Strošek nadgradnje sončne elektrarne	21
Tabela 5: Finančna analiza nadgradnje elektrarne	21
Tabela 6: Primerjava finančnih analiz.....	22
Tabela 7: Razlogi za in proti rezanju energije	25

KRATICE IN AKRONIMI

A:	Amper
AC:	Izmenični tok (ang. Alternating Current)
DC:	Enosmerni tok (ang. Direct Current)
kWh:	Količina električne energije merjena v kW/h (moč 1000W, čas 1h)
kWp:	Vršna moč v kilovatih – za merjenje nazivne moči sončne elektrarne
MPPT:	Sledenje točki maksimalne moči (ang. Maximum Power Point Tracking)
OVE:	Obnovljivi viri energije
PMO:	Priključna merilna omarica
ROI:	Donosnost naložbe (ang. Return on Investment)
RTP:	Razdelilna transformatorska postaja
V:	Volt
VA:	Volt Amper
Wp:	Vršna moč (ang. Watt peak)

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

Naš problem jepremajhna količine proizvedene sončne energije iz domače samooskrbne sončne elektrarne. Ta problem nikakor ni posledica okvare ali kakršnegakoli napačnega delovanja. Dejansko elektrarna deluje po pričakovanjih, le poraba električne energije se je povečala. Ugotavljamo, da je sončna elektrarna postala premajhna in da je potrebna njena nadgradnja. Problem predstavlja tudi izdano soglasje za priključitev, saj smo ga v predhodnih nadgradnjah že spreminjali in je sedaj izdano za najvišjo vrednost oddane energije v omrežje, kar je dovoljeno za našo velikost glavnih varovalk (3 x 25 A), in sicer znaša 13,6 kW. Dodatna povečava priključne moči in s tem povečava soglasja, tudi zaradi spremenjenih pogojev (izguba letnega obračuna – neto merjena), nikakor ne pride v poštev.

1.2 Cilji naloge

Cilj naloge je nadgraditi sončno elektrarno na najbolj učinkovit način.

Želimo pa tudi preučiti različne možnosti nadgradnje in poskrbeti za rezanje konične proizvodnje. Treba se je držati limite, ki je navedena v soglasju. Kot vsakega gospodarja tudi nas skrbijo izgube zaradi rezanja konične moči, hkrati pa se zavedamo, da brez izgub nadgradnja ne bo mogoča. Cilj naloge je čim bolj nadgraditi sončno elektrarno, ovrednotiti porezano energijo in predstaviti ter argumentirati, da so izgube do neke mere tudi smiselne. Želimo pojasniti, zakaj je rezanje proizvedene konične moči dobro tudi za elektroenergetsko omrežje.

1.3 Predstavitev domače sončne elektrarne

Domača sončna elektrarna je bila zgrajena leta 2019. Januarja tega leta smo jo priključili v obratovanje. Soglasje se je pridobivalo oktobra 2018 po takrat veljavni zakonodaji, zapisani v uredbi o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije (Uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije, 2015).

Takratna konfiguracija je bila zelo preprosta. Imeli smo en 7.000 VA razsmernik proizvajalca SolarEdge in 28 solarnih modulov Bisol 300 Wp ter 28 optimizatorjev P300. Skupna nazivna moč modulov je znašala 8.400 Wp. Od takrat pa vse do januarja leta 2023 se je elektrarna že večkrat po malem nadgrajevala.

- Prva nadgradnja je bila s 4 moduli Bisol 330 Wp ter 4 optimizatorji P370 vezana na obstoječ razsmernik 7.000 VA. Skupna nazivna moč je bila 9720 Wp.

- Druga nadgradnja je bila s 6 mikroinverterji IQ7+ proizvajalca Enphase 295 VA in moduli Trina solar 370 Wp. Sedaj imamo že 11.940 Wp nazivne moči modulov in 8770 VA razsmerniške moči.
- Tretja nadgradnja je bila prav tako s 6 mikroinverterji, tokrat proizvajalca Letrika 260 VA, in 6 moduli Trina solar 370Wp na vrtni lopi.

Sedaj imamo že 14.160 Wp nazivne moči modulov in 10.330 VA razsmerniške moči. V sklopu te zadnje nadgradnje se je spremenilo tudi soglasje za priključitev, s prvotne moči 8,4 kVA je sedaj dovoljeno priklopiti do 13,6 kVA. Bolj natančno povedano, sedaj je dovoljeno, da skozi merilno napravo (števec elektro distribucije) v elektroenergetski sistem oddajamo največ 13.600 VA. V sami merilni napravi (števcu) so programsko tudi nastavljene limite (Manualslib, b.l) oziroma jih nastavi prevzemnik elektro distribucije in v primeru prekoračitve merilna naprava izklopi porabnika. V takem primeru smo brez elektrike, vse dokler se ročno ne pritisne tipke za ponovni vklop na PMO, ki je vezana na števec. S tem tudi pojasnim, zakaj sem navajal oba podatka, tako inštalirano moč modulov v Wp kot tudi razsmerniško moč v VA. Omrežje zaznava zgolj drugo, torej razsmerniško moč, in še to le tisti del te moči, ki je v danem trenutku ne porabljamo. Za zagotavljanje nemotenega delovanja se je potrebno držati nastavljenih limit v merilni napravi, le te pa so nastavljene v vrednosti izdanega soglasja. Naša limita je tako nastavljena na 13.600 VA. Če se omejimo na maksimalno proizvodnjo moč na razsmerniku, smo hkrati na varni strani pred delovanjem zaščit v merilni napravi (nastavljenih limit).

1.4 Predpostavke in omejitve

Predpostavljamo, da je nadgradnja sončne elektrarne brez spremembe soglasja še vedno mogoča in smiselna, saj je trenutno 10.330 VA razsmerniške moči, soglasje pa imamo za 13.600VA oziroma 13,6 kW. Razlika 3.270 VA je še neizkoriščena.

Omejitve, s katerimi se torej srečamo, so:

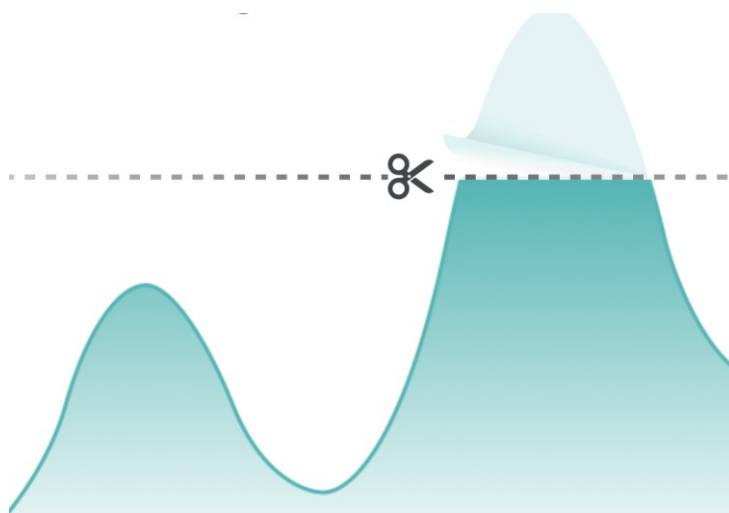
- soglasje elektra za 13,6 kW,
- moč razsmernika 7.000 VA,
- omejen prostor na strehi hiše, usmeritev in naklon strehe,
- omejen prostor za dodatni razsmernik,
- težavna izvedba dodatne DC povezave med streho in razsmernikom, saj v obstoječi inštalaciji ni prostora za dodatne DC vodnike ter
- nepovezljivost treh različnih proizvajalcev razsmernikov v enoten nadzorni sistem za nastavitev limite pri oddajanju v omrežje.

Posledice vseh omejitev, s katerimi se srečujemo, vsekakor vplivajo na izbor tehnične rešitve nadgradnje. Zelo preprosta rešitev, ki se ponuja, je menjava razsmernika z 7000 VA na 10.000 VA ter povečava razmerja DC : AC. Druge

preproste in cenovno dostopne izbire za nastavitev maksimalne izhodne moči kot je nastavitev proizvodnje limite na razsmerniku, preprosto nimamo. Edina smiselna izbira za zagotavljanje dogovorjene limite 13.600 VA (kot je v elektro soglasju) je torej limita proizvodnje na razsmerniku. Če dograjujemo več mikroinverterjev ali več centralnih razsmernikov, se še vedno srečujemo s težavo upravljanja vseh inverterjev kot ene celote. Na trgu ni preproste rešitve, s katero bi v logično celoto povezali vse mikro inverterje in en centralni inverter. Tudi zamenjava oziroma prevezava mikroinverterjev v centralni inverter ne pride v upoštevanje, saj lokacijsko to ni možno. Polovica mikroinverterjev je namreč montirana na vrtni lopi, ki je precej oddaljena od hiše. Edina smiselna rešitev je delna povečava razsmernika (za 3.000 VA) in čim večja povečava na DC strani.

Že v tem trenutku pred nadgradnjo sončne elektrarne so razlike med montirano vršno močjo solarnih modulov (W_p) in razsmerniško močjo (VA). To razmerje je hkrati tudi razmerje med DC in AC. Do trenutka, ko je razmerje 1 : 1, je razumljivo, da bo vsa sončna energija tudi pretvorjena v AC in nimamo porezane energije. S povečevanjem na DC strani pa se razumljivo vsa energija ne more več pretvarjati v AC, to je vzrok za rezanje energije. Predpostavljamo, da je povečanje sončne elektrarne na DC strani (dogradnja solarnih modulov) preko DC : AC razmerja 1 : 1 kljub rezanju konične moči še vedno smotrna. Predpostavljamo, da je razmerje DC : AC v našem primeru smotrno povečati vse do 1,865 : 1. Na letni ravni pričakujemo izgube z naslova porezane energije samo za okoli 4–6 %. Predpostavljamo, da je kljub porezani energiji takšna dograditev sončne elektrarne smotrna.

Slika 1 prikazuje porezano moč.



Slika 1: Rezanje konične moči
(Vir: GridX, b.l.)

1.5 Metode dela

Tako v teoretičnem kot tudi v praktičnem raziskovalnem delu diplomske naloge je uporabljena metoda dela študija primera. Na konkretnem primeru domače sončne elektrarne raziščemo možne načine nadgradnje. Ovrednotimo prednosti in slabosti izbrane nadgradnje, izgube zaradi rezanja konične moči in finančno ocenimo smiselnost rezanja konične moči. Dotaknemo se tudi vpliva rezanja konične moči na elektroenergetski sistem.

Uporaba UI v diplomskem delu je smotrno vključena. UI je bila v diplomskem delu uporabljena za pravopisno korekcijo ter prevod v bolj strokovni slog zapisa uvoda, povzetka in zaključka. Uporabili smo orodje ChatGPT (OpenAI), datum 18. 3. 2026. Korekcije smo nato pregledal in sprejel le ustrezne predloge, ter odstranil nepotrebne.

2 SPLOŠNO O VGRAJENI OPREMI

Če smo prej govorili o netehničnih splošnih podatkih, v tem poglavju bolj podrobno spregovorimo o tehničnih stvareh. Ob enem pa ne gremo v podrobnosti, kako so solarni moduli izdelani in na kakšen način proizvajajo napetost.

2.1 Predstavitev domače sončne elektrarne in njene dogradnje

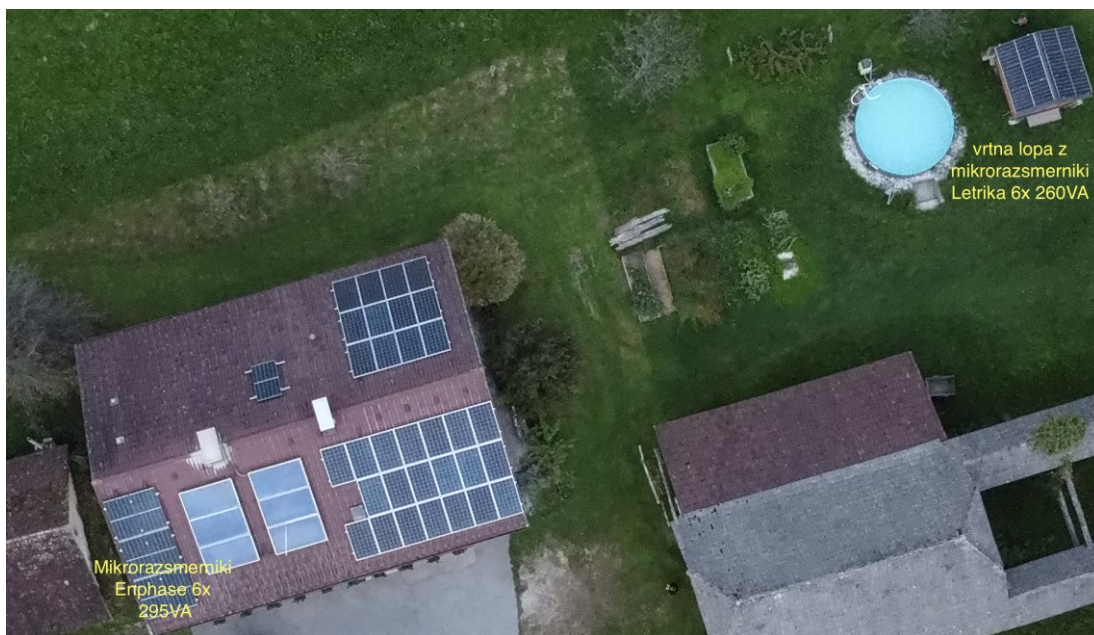
Domača sončna elektrarna je bila prvotno postavljena na stanovanjsko hišo (leta 2019), kasneje pa smo jo deloma postavili še na vrtno lopo. Večina solarnih modulov (20 kos 300 Wp, kar je 6.000 Wp) na hiši je obrnjenih na jugozahod (Azimut 229°) z naklonom 31°. Ta del strehe ima precej boljše pogoje kot nasprotna streha, kjer so moduli z enakim naklonom obrnjeni proti severovzhodu. Na severovzhodnem delu strehe je montiranih 8 kosov 300 Wp in 4 kosi 330 Wp solarnih modulov. Ravno ti 4 modili so 1. nadgradnja domače sončne elektrarne (leta 2020). Sedaj imamo skupaj na severovzhodnem delu strehe montiranih 3.720 Wp solarnih modulov. Vzhodna in zahodna streha sta skupaj povezani v en niz (skupna moč je 9.720 Wp). Vsi opisani moduli pa so preko DC solarnega vodnika skozi opuščen dimnik speljani do kletnih prostorov, kjer je montirana DC varovalna omarica in 7.000 VA razsmernik proizvajalca SolarEdge. V tem trenutku pred 2. in 3. nadgradnjo je razmerje DC : AC = 9720 Wp : 7.000 VA, kar je 1,39 : 1.



*Slika 2: Domača hiša s sončno elektrarno po 1. nadgradnji
(Lastni vir)*

Kasneje sta sledili še 2. in 3. nadgradnja domače sončne elektrarne. Omenili smo že, da je del elektrarne zgrajen z mikrorazsmerniki. Ti so se dodajali v 2. in 3. nadgradnji sončne elektrarne, ki sta potekali med leti 2021 in 2022. Na streho hiše so mikrorazsmerniki IQ7+ proizvajalca Enphase moči 295 VA montirali v juniju 2021. Na mikrorazsmernike IQ7+ so priključeni moduli proizvajalca Trina Solar z močjo 370 Wp. Torej imamo razmerje DC : AC = 370 : 295, kar je 1,25 : 1.

Na vrtni lopi so prav tako nameščeni solarni moduli Trina Solar z močjo 370 Wp ter mikrorazsmerniki slovenskega proizvajalca Letrika z močjo 260 VA. Tukaj imamo razmerje moči DC : AC = 370 : 260, kar je 1,42 : 1. Ta nadgradnja je potekala maja 2022.



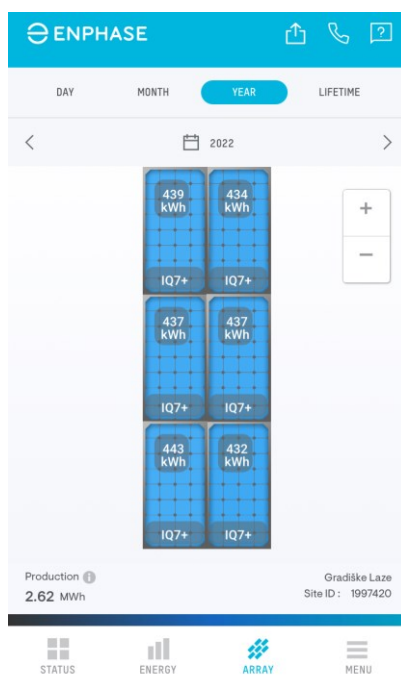
*Slika 3: Domača hiša s sončno elektrarno po 3. nadgradnji
(Lastni vir)*

Odgovor na vprašanje, zakaj smo elektrarno dograjevali z mikrorazsmerniki, je res preprost. To smo delali zaradi modularnosti nadgradnje. Mikrorazsmerniki omogočajo preprosto nadgradnjo, saj pri takšni nadgradnji ni pomembno, koliko solarnih modulov dodajamo danes in koliko jih bomo dodali jutri. V kolikor se pojavi konec leta potreba po večjem številu kWh, se preprosto lahko doda en modul ali dva ter ravno toliko mikrorazsmernikov. Tudi dislocirana enota – vrtna lopa – za mikrorazsmernike ne predstavlja težav, saj je AC elektrika že napeljana do vrtno lope. Nasprotno bi imeli nemalo težav, če bi vrtno lopo povezali v DC niz, ki je na strehi stanovanjske hiše.

Vzemimo pa v zakup, da smo že prej zaprosili za novo soglasje elektra in smo ga tudi prejeli, tako da imamo dokumentacijski del že urejen (prej 8,4 kW soglasje, sedaj 13,6 kW soglasje). Dogovorjene moči v elektro soglasju se namreč nikoli ne sme prekoračiti.

Poudariti je potrebno, da so vgrajeni mikrorazsmerniki enofazni. Enofazna proizvodnja je potencialno lahko tudi problematična, če preveč obremenimo le en fazni vodnik. V soglasju je opredeljeno, da proizvodnji vir ne sme proizvajati fazne nesimetrije večje od 16 A. Prav tako pa soglasje opredeljuje tudi to, da porabnik ne sme vključiti enofaznega bremena, ki bi bilo večje od 16 A. Pri enofaznih mikrorazsmernikih se tako v nobenem primeru ne sme postaviti elektrarne večje od 16 A na fazo. Pri naši konkretni nadgradnji z IQ7+ mikrorazsmerniki smo dosegli le $6 \times 295 \text{ VA} = 1.770 \text{ VA}$ oziroma 7,3 A in smo še vedno precej pod dovoljeno 16A nesimetrijo. Mikrorazsmerniki IQ7+ so vezani na fazni vodnik L1. Mikroinverterji na

vrtni lopi so vezani na fazni vodnik L2 in to ravno zato, da je fazna nesimetrija čim manjša. Z njimi smo dosegli $6 \times 260 \text{ VA} = 1.560 \text{ VA}$ oziroma 6,5 A. Elektrarna, ki je zgrajena iz mikrorazsmernikov IQ7+ proizvajalca Enphase, nam je v letu 2022 (po celem letu delovanja) proizvedla 2.620 kWh dodatne energije. Izračun pokaže, da je proizvodnja električne energije 1.180 kWh/leto/kWp na montiranih solarnih modulih, kljub razmerju DC : AC = 370 : 295, kar je 1,25 : 1.



Slika 4: Prikaz proizvodnje mikroinverterjev IQ7+ v letu 2022
(Lastni vir)

S soglasjem je potrjeno, da lahko elektroenergetski sistem uporabljamo za izravnavo naše proizvodnje s porabo. Soglasje nam omogoča izravnavo električne energije na letni ravni med oddano in prejeto energijo, prav tako se netira tudi omrežnina na oddano in nato iz omrežja prejeto energijo. Še krajše povedano, zaradi soglasja ne potrebujemo baterije prav tako pa nam je s tem omogočena tudi hramba poletnih viškov za zimsko obdobje. Brez uredbe vlade o neto merjenju se ta preboj s postavitvijo sončnih elektrarn in vlaganje privatnega denarja v OVE naložbe še vedno ne bi zgodil.

Prva uredba o samooskrbi, ki je povzročila preboj sončnih elektrarn, je bila uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije (Uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije, 2015). Sami smo postavili prvo sončno elektrarno še v času prve uredbe o samooskrbi. Kasneje, ko smo elektrarno dograjevali, pa je stopila v veljavo (Uredba o spremembah Uredbe o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije, 2020), katere soglasje je veljavno še danes.

Neto merjenje, kakršnega smo poznali, je bilo za nove naprave ukinjeno z novo uredbo (Uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije, 2022), po kateri pa je bilo do konca leta 2024 še mogoče priklopiti naprave za samooskrbo po letnem neto merjenju.

Preračunano se je elektrarne v shemo neto merjenja priključevalo skoraj 10 let (od 15.1. 2015 do 31.12. 2024). Tudi danes se elektrarne še vedno lahko priklaplja v omrežje, vendar ni več netiranja omrežnine za lastno energijo prevzeto nazaj iz omrežja. Še vedno pa uredba določa (Uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije, 2022), da se z dobaviteljem energije odjemalec lahko dogovori o mesečnem ali letnem obračunu energije. Uredba tudi določa (Uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije, 2022), da se viški energije finančno poračunajo oziroma izplačajo. Prejšnje uredbe (Uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije, 2015), (Uredba o spremembah Uredbe o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije, 2019) in (Uredba o spremembah Uredbe o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije, 2020) so bile ugodnejše, saj so omogočale večje prihranke ravno iz naslova poračunavanja omrežnine.

Pomembna je tudi izbira kakovostne opreme, saj se s tem na dolgi rok tudi prihrani. Prihranek lahko štejejo tako v denarju, predvsem zaradi zanesljivejšega delovanja, kot tudi v manjših sitnostih in težavah zaradi nedelovanja. Izbira sistema, ki deluje z optimizatorji, nam prihrani še na času, ki ga porabimo za iskanje napak, ter prirednem servisiranju. Sistemi z optimizatorji vključujejo tudi napredne varnostne in zaznavne funkcije na DC strani, ki pomembno vplivajo na požarno varnost in zaznavanje napak. Proizvajalec SolarEdge med drugim navaja (SolarEdge Technologies, b.l.-b), da se tehnologija, ki nenehno spremlja temperaturo MC4 konektorjev, zaznava abnormalnosti in preprečuje nastanek električnih oblokov, imenuje Sense Connect. Ostali proizvajalčevi prednosti sta še vpogled v delovanje vsakega solarnega modula v realnem času ter optimiziranje moči (MPPT) na nivoju vsakega modula.

Najpomembnejša prednost sistema z optimizatorji pa je zagotovo požarna varnost in zagotavljanje male varne napetosti ob izklopu. Vsak optimizator odda v niz le 1 V DC napetosti, tako nikjer na strehi ob izklopu ni napetosti višje od 50 V DC. Iz tega podatka ugotovimo, zakaj v niz tudi ni mogoče povezati več kot 50 modulov – o tem kasneje v poglavju 3.1. Še vedno govorimo o sončni elektrarni na strehi domače hiše in noben prihranek pri nakupu cenejše opreme nam ne more odtehtati škode, ki bi nastala s požarom, zato ocenjujemo, da je požarna varnost, ki jo nudijo sistemi z optimizatorji, kljub višji začetni ceni na dolgi rok cenejša.

Povsem enako kot velja za sisteme sončnih elektrarn z optimizatorji, velja tudi za sončne elektrarne z mikrorazsmerniki. Dodatno pa imajo še vsaj dve večji prednosti. Prva je zagotovo ta, da mikrorazsmerniki zagotavljajo malo varno napetost tudi skozi celotni čas delovanja oziroma med samim delovanjem. Torej je hoja po strehi, dotikanje solarnih modulov in konstrukcije vedno, tudi ob preboju DC napetosti na ohišje, varna. Posledično tudi ni zamika ob izklopu AC napajanja, da se zagotovi mala varna napetost na DC strani. Druga večja prednost pa je pravzaprav število mikrorazsmernikov. Večja, kot je elektrarna, manjši je % izpada proizvedene energije zaradi okvare modula ali mikrorazsmernika. Pri sistemih s centralnim inverterjem okvara na nivoju razsmernika predstavlja 100 % izpad proizvedene energije. Okvara na nivoju modula (poškodba solarnega modula zaradi toče ali vroče točke) pa predstavlja izpad celotnega niza. V našem primeru ima elektrarna le en niz, zato je tudi v takih primerih izpad 100 %. Lahko dodamo še eno, in sicer prostorsko prednost. V kleti namreč ne potrebujemo ne prostora, kjer bo nameščen inverter, ne prostora za DC omarico in varovalne elemente v njej. Mikroinverterji so res zelo elegantna rešitev za manjša dograjevanja, še zlasti na strehah, ki se ne držijo hiše.

Ko se je ponovno pojavila potreba po nadgradnji sončne elektrarne, smo želeli, da je tokrat nadgradnja čim večja. Sedaj pred zadnjo, 4. nadgradnjo, imamo 3 različne proizvajalce razsmernikov ter dva različna tipa razsmernikov (1 centralni in 12 mikrorazsmernikov). Pred zadnjo nadgradnjo smo več časa namenili razmišljanju, kako jo zasnovati, da bo hkrati cenovno čim ugodnejša in še, da bo sistem delujoč kot celota. Največja ovira je zagotovo ta, da zaradi treh različnih proizvajalcev opreme na trgu ne obstaja primerna rešitev, ki bi vse razsmernike povezala v celoto in upravljala z močjo. Dodatna želja je ta, da se na daljši časovni rok izognemo nadgradnjam, zato naj bo tokratna nadgradnja čim večja. Dobra stran te zadnje, in hkrati najtežje nadgradnje, pa je nastanek tega diplomskega dela. Odločitev za nadgradnjo ni bila preveč preprosta in je terjala več tehtnih premislekov.

Tabela 1 prikazuje podatke o vgrajeni opremi in količini, ki izgrajuje domačo sončno elektrarno, ter razmerje DC : AC.

Proizvajalec razsmernika/ov	Količina razsmernikov	Razsmerniška moč (AC) podana v VA	Proizvajalec Solarnega modula	Moč solarne ga modula v Wp	Količina solarnih modulov	Inštalirana (DC) moč v Wp	Razmerje moči DC : AC
			Bisol BMO	300	28	8.400	
			Bisol BMO	330	4	1.320	
SolarEdge	1	7.000				10.120	1,39 : 1
Enphase	6	295	TrinaSol	370	6	2.220	1,25 : 1

Na Sliki 5 vidimo zgoraj desno proizvodnjo energije na vsakem solarnem modulu posebej in to od samega začetka (september 2019) do danes (december 2025). Vidimo lahko, da je 300 Wp modul na severovzhodni strani proizvedel v povprečju 1,48 MWh energije, v istem času pa so enaki moduli na boljši jugozahodni legi proizvedli v povprečju 2,06 MWh energije. Iz tega lahko izračunamo, da proizvodnja na severovzhodni legi dosega 71,84 % proizvodnje na jugozahodni legi, torej je proizvodnja slabša za 28,16 %. Če se s številkami poigramo še naprej, lahko rečemo, da bi na slabšo lego lahko dali 384,5 Wp solarni modul in bi proizvedel enako količino kWh energije, kot 300 Wp modul na boljši, jugozahodni legi. Prostor, ki nam je na voljo za nadgradnjo, je prikazan na fotografiji (Slika 6).



*Slika 6: Prostor za nadgradnjo sončne elektrarne na stanovanjski hiši
(Lastni vir)*

2.2.2 Nadgradnja z mikroinverterji Enphase

Imamo že tri različne sisteme, dva od treh sta mikroinverterja in do sedaj smo z mikroinverterji odlično izpeljali večino nadgradenj. Če pogledamo možnosti take nadgradnje, je to res povsem možno. Res je, da je na podstrešju potrebna manjša predelava elektro omarice, saj bi v takem primeru dograjene mikroinverterje morali priklopiti na fazni vodnik L3. O fazni nesimetriji je bilo že govora v poglavju 2.1. Torej možno je.

Katere pa so prednosti in slabosti?

Prednost je ta, da že imamo nadzorni sistem Enphase in nakup le tega ni več potreben. Poleg solarnih modulov je treba kupiti še enako število mikrorazsmernikov, podkonstrukcijo in AC vodnike.

Koliko mikrorazsmernikov in posledično solarnih modulov pa lahko dogradimo?

Trenutno že imamo 10.330 VA razsmerniške moči in do polne zasedenosti 13.600 VA imamo na voljo še 3270 VA. En mikrorazsmernik ima moč 295 VA, torej jih lahko vgradimo 11. Od razpoložljivih 3.270 VA bi tako iz soglasja ostalo 25 VA neizkoriščenih. Slabost bi mogoče bila, da bi kot matrica na strehi res izgledalo malo nedovršeno. Predvidena matrica bi tako bila: 3, 4, 4. Na hitro bi izgledalo, kot da za lep kvadrat 3 x 4 manjka en modul. Tudi to bi se dalo rešiti z zmanjšanjem vršne moči SolarEdge razsmernika za moč še enega mikrorazsmernika. Tako bi lahko rešili nastalo lepотно težavo, pridobili bi 12. solarni modul in lepo matrico 3 x 4. Ta bi bila identična tudi že obstoječi matrici solarnih modulov na isti strani hiše.

Kaj pa DC moč in koliko bi takšna nadgradnja prinesla kWh na letni ravni?

Solarni moduli, ki so bili na voljo v času nadgradnje, so bili 425 Wp. Takšen solarni modul bi v kombinaciji z mikrorazsmernikom 295 VA na letni ravni proizvedel okoli 340 kWh. Ta podatek najlažje pridobimo s pomočjo primerjalnega računa. Za vhodni podatek vzamemo 300 Wp solarni modul, ki že obratuje in letno proizvede 230 kWh energije. Izračunamo si, koliko bi proizvedel 425 Wp solarni modul. Izračun pravi, da bi na en solarni modul proizvedel 325 kWh električne energije na leto. Na 12 dograjenih solarnih modulov torej $12 \times 325 \text{ kWh} = 3.900 \text{ kWh/leto}$. Smo zadovoljni s predvidenim izkupičkom? Kaj če nismo in bi si želeli še več?



Slika 7: Mikroinverter IQ7+ proizvajalca Enphase
(Vir: Enphase Energy, b.l.)

2.2.3 Nadgradnja centralnega razsmernika SolarEdge

Takšna nadgradnja je možna, vendar ima veliko ovir.

Prednosti in slabosti:

DC povezava med streho in kletnimi prostori je zgolj in samo za en niz. V sklopu dogradnje je opuščeni dimnik že zasičen s solarnimi cevmi in solarnim kablom obstoječe sončne elektrarne, ki pa je še v dodatni zaščitni cevi. Že prvotno, ko smo elektrarno gradili, je bila napeljava DC vodnikov ena od najtežjih opravil. Lahko rečemo, da smo omejeni na samo en niz, dokler sprejemniki sončne energije za pripravo tople vode ostajajo na strehi. DC vodnik, ki je preseka 6 mm^2 , je mogoče konstantno obremeniti s 25 A. Načeloma to res ni malo, saj pri sistemih z optimizatorji niz deluje od 750 V ali več, odvisno od optimizatorjev in razsmernika.

Dodatna težava je prostor za dodatni razsmernik, potrebno ga je zamenjati z močnejšim, saj ni prostora za dva razsmernika. Glede na to, da imamo možnost nadgraditi invertersko moč za 3.270 VA, je na tržišču primeren 10.000 VA razsmernik SolarEdge, ki se bo povezal z obstoječimi optimizatorji in nam omogočil dodatnih 3.000 VA razsmerniške moči. Prednost tega razsmernika je v tem, da je enakih dimenzij, kot je trenutni 7.000 VA razsmernik. Tudi AC vodnik lahko ostane preseka 6 mm^2 in tudi avtomatski odklopnik lahko ostane enak – 20 A.

Prednost je tudi platforma proizvajalca SolarEdge Designer (SolarEdge Technologies, b.l.-c) za zasnovo elektrarn kot tudi njihove nadgradnje. Naš cilj je z uporabo platforme priti do zaključka, ali lahko z nadgradnjo SolarEdge sistema pridemo do večjega števila kWh na letni ravni kot z nadgradnjo z mikrorazsmerniki. Tam smo preračunali, da lahko proizvedemo dodatnih 3.900 kWh na leto z 12 mikrorazsmerniki.

2.2.4 Nadgradnja z mikrorazsmerniki Letrika

Možnost uporabe mikrorazsmernikov proizvajalca Letrika pa je povsem nična. Proizvajalec je razglasil stečaj in novih mikrorazsmernikov ne proizvaja več.



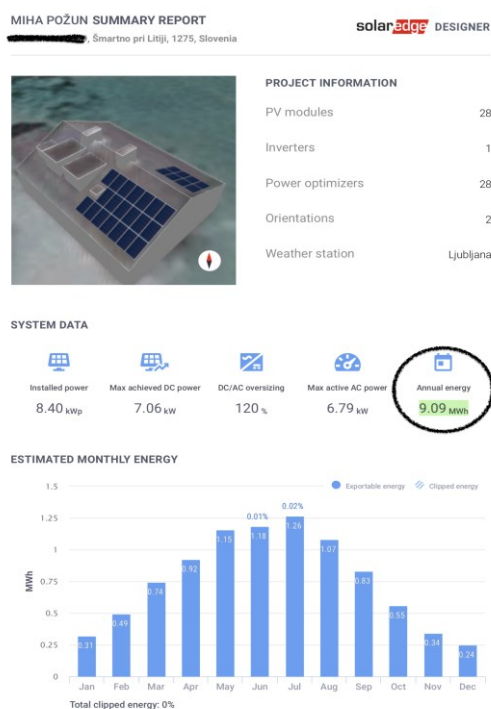
*Slika 8: Sončna elektrarna izvedena z mikroinverterji proizvajalca Letrika
(Lastni vir)*

3 ZASNOVA NADGRADNJE

Na trgu lahko najdemo marsikatero orodje za zasnovanje elektrarne in tudi za zasnovanje nadgradnje sončne elektrarne. Proizvajalec Enphase ponuja spletno orodje za preverjanje kompatibilnosti med solarnim modulom in mikrorazsmernikom. Včasih je bilo potrebno vse izračune narediti ročno in preveriti kupe tehnične dokumentacije. Nekateri proizvajalci imajo odlično spletno verzijo orodja za zasnovanje in nadgradnjo, nenazadnje pa s predhodno izdelano zasnovano pogojujejo tudi garancijo. Tudi proizvajalec SolarEdge je takšen. Danes je lahko snovanje elektrarne, kot tudi snovanje nadgradnje, zelo enostavno. V tem poglavju se posvetimo zasnovi nadgradnje domače sončne elektrarne s pomočjo spletnega orodja SolarEdge Designer (SolarEdge Technologies, b.l.-c).

3.1 Zasnovanje nadgradnje s pomočjo orodja SolarEdge Designer

Če govorimo o nadgradnji, to pomeni, da trenutno že obstaja zasnovana za obstoječe stanje. V spletnem orodju se torej poišče ta zasnovana in na njej se gradi – dograjuje.

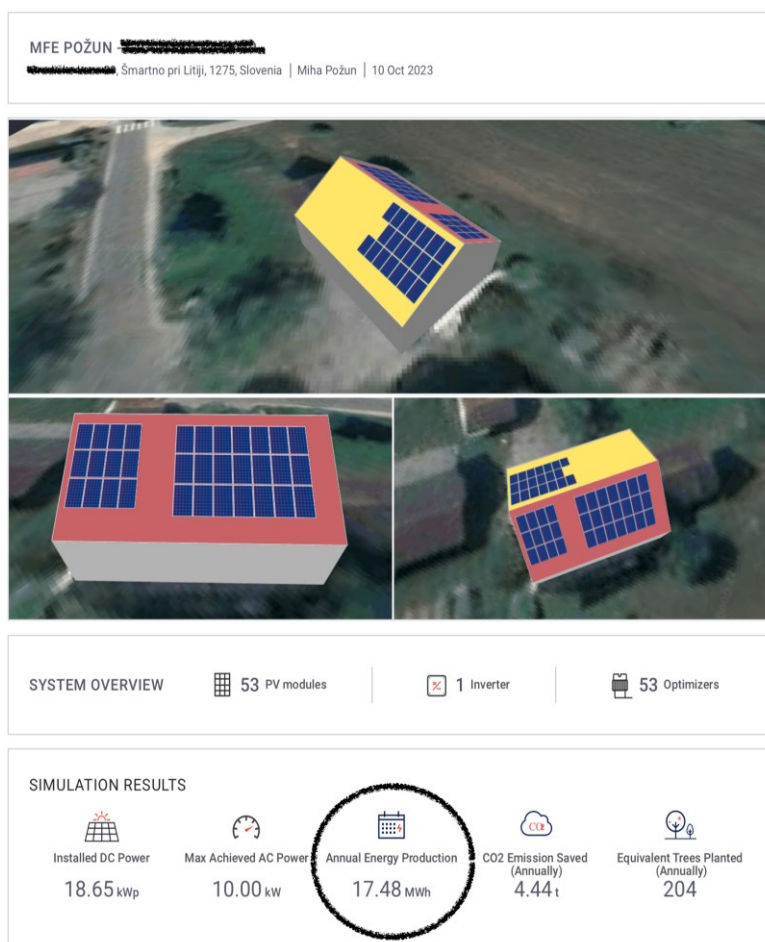


Slika 9: Sončna elektrarna, prva idejna zasnovana
(Lastni vir)

V obstoječem stanju je že določena mikrolokacija oziroma točen naslov objekta. Program potrebuje točen naslov za določitev najbližje vremenske postaje, s katere črpa podatke o osončenosti lokacije. V našem primeru je program uporabil 34,76 km oddaljeno vremensko postajo v Ljubljani. V obstoječem stanju zasnove so določeni tudi že naklon strehe (31°), usmeritev strehe (jugozahod z azimutom 229° in severovzhod z azimutom 49°), ovire na strehi in preostanek prostora na strehi. Na preostanku prostora narišemo matrico solarnih modulov.

Prostora za same solarne module je kar dovolj. V programu izberemo proizvajalca in model solarnega modula. V ozadju pa program že pozna mere, nazivno napetost, nazivni tok, koeficiente vpliva temperature na napetost itd. V tem trenutku nas zanima zgolj mera solarnih modulov, oziroma kolikšno matrico bomo lahko dobili na streho stanovanjske hiše. Ostalo nas bo zanimalo kasneje.

Iz slike 10 je razvidno, da na streho dobimo matrico 3 x 7, to je 21 modulov moči 425 Wp, kar je dodatnih 8.925 Wp.



Slika 10: Sončna elektrarna, prva idejna zasnova
(Lastni vir)

Matrica torej pokaže 21 dodatnih modulov, kar je dodatnih 8925 Wp. Nam pa program tudi že ponudi informacijo, koliko bo celotna elektrarna proizvedla na leto, tj. 17.480 kWh. Prvotna elektrarna z 28 Bisolovimi moduli z močjo 300 Wp je po podatkih programa za zasnovo elektrarn proizvedla 9.090 kWh (slika 9). Manjka nam vmesni podatek, koliko je proizvedla elektrarna z 32 moduli, kjer smo prvotni dodali še 4 solarne module Bisol z močjo 330 Wp.

Žal se je ob menjavi razsmernika točen podatek izgubil. Le s primerjalnim izračunom lahko nekako pridemo do dobrega približka. Aplikacija ponudi vpogled v proizvodnjo kWh na vsakem solarnem modulu. Izhajamo lahko iz podatka proizvodnje 300 Wp modulov v isti matrici na isti usmeritvi in preračunamo predvideno proizvodnjo za 330 Wp solarne module. Razlika med 300 in 330 Wp je ravno dodatnih 10 % in to vzemimo za naš izračun. Iz slike 5 je razvidno, da so 330 Wp moduli po proizvodnji že ujeli 300Wp module. Letna proizvodnja 300 Wp modula (prebrano iz aplikacije) je 225 kWh. Za dober približek torej vzemimo 10 % več in tako zaključimo, da 330 Wp modul letno proizvaja 225 kWh + 10 %, kar je 247,5 kWh. Ker pa imamo 4 takšne module, proizvodnja torej znaša 4 x 247,5 kWh, kar je 990 kWh/leto. Letna proizvodnja pred zadnjo nadgradnjo je tako znašala približno 9.090 kWh (28 x 300 Wp) + 990 kWh (4 x 330 Wp), kar skupaj nanese 10.080 kWh/leto.

Že smo korak bližje, saj izračunano vrednost letne proizvodnje le odštejemo od vrednosti letne proizvodnje, ki jo je program podal (slika 10). Izračun pokaže 17.480 kWh – 10.080 kWh = 7.400 kWh. Sedaj je slika jasna, saj nam bo dodatnih 8.925 Wp modulov na severovzhodni strehi proizvedlo dodatnih 7.400 kWh električne energije. V teh izračunih so izgube zaradi DC : AC razmerja že upoštevane. Vse možnosti so predstavljene v tabeli (Tabela 2).

Proizvajalec razsmernika/ov	Možnost izvedbe	Koliko Wp je možno dograditi	Proizvajalec Solarnega modula	Moč solarne ga modula v Wp	Količina solarnih modulov	Predvidena letna proizvodnja kWh	Predvidena letna proizvodnja kWh/kWp
SolarEdge	DA	8925	TrinaSolar	425	21	7400	829
Enphase	DA	5100	TrinaSolar	425	12	3900	765
Letrika	NE	/	/	/	/	/	/

Tabela 2: Možne nadgradnje v Wp in kWh
(Lastni vir)

Sedaj pa je na vrsti električna povezava. Tudi tukaj nam program resnično zelo pomaga. Zaradi prostorske situacije smo že sami prej dorekli, da v konfiguraciji upoštevamo 10.000 VA razsmernik in odstranimo prejšnjega 7.000 VA. Obstoječega niza pa ne moremo povečati do te mere, da bi vključili vse dodane solarne module v ta niz. Program se ustavi pri številki 50. To je tehnična omejitev SolarEdge optimizatorjev, kot smo že omenili v poglavju 2.1, bi prekoračitev pomenila, da mala varna napetost ob izklopu ni več zagotovljena – imeli bi namreč 53 V DC napetosti. Zadnji trije solarni moduli ne morejo biti povezani v obstoječ niz. Rešitev, ki se pojavi in jo program ponudi, je izdelava dveh nizov. Torej, če povežemo vse na novo zasnovane module v en niz, obstoječi niz pa pustimo takšen, kot je, lahko povežemo vseh 53 solarnih modulov. Tu pa imamo ponovno novo težavo. Kot je bilo že opisano v prejšnjem poglavju, je opuščena dimnik že zaseden z napeljavo cevi solarno termalnega sistema in enega DC niza, zato tukaj ne moremo dodati še enega kompleta solarnih vodnikov (2x6 mm²), čeprav ima razsmernik vhod za dva niza.

Vodniki, ki so premera 6 mm², lahko iz strehe do inverterja prenesejo popolnoma vso energijo. Hkrati vsa energija predstavlja le 10.000 VA (razsmerniška moč), kar znaša pri nazivni napetosti 750 V DC le 13,3 A. Vodniki pa so sposobni konstantne obremenitve do 25 A. Solarni konektorji MC4, ki jih uporabljamo, zmorejo konstantne obremenitve do 20 A. Še en zelo pomemben podatek pa je ta, da oba niza s pomočjo optimizatorjev na strehi, ki so montirani pod vsakim solarnim modulom po en, zagotavljata konstantno sistemsko DC napetost 750 V. Tudi v inverterju sta oba pozitivna vodnika vezana skupaj in oba negativna vodnika prav tako. Inverter pravzaprav ne opravlja funkcije MPPT, saj to funkcijo opravljajo optimizatorji. Torej združimo pozitivna in negativna solarna vodnika že na podstrešju. To združevanje nam omogoči tako imenovani Y kos MC4 solarnega konektorja.



*Slika 11: Y kos MC4 solarnega konektorja – združevanje dveh nizov
(Lastni vir)*

Kar pa se tiče preostalih DC zaščit, DC omarice, AC zaščit in AC vodnika, vse ostaja nespremenjeno. Lahko bi tudi rekli, da smo že na začetku dobro dimenzionirali vodnike, omarice, zaščite, saj nam sedaj ni potrebno ničesar spreminjati. Spremeniti oziroma zamenjati moramo le razsmernik z 7.000 VA na 10.000 VA.

Ena stvar pa resnično bode v oči, to je razmerje DC : AC, ki v tem primeru postane 18650 Wp : 10.000 VA oziroma 1,865 : 1. K temu problemu pa se vrnemo kasneje. Kljub resnično velikemu DC : AC razmerju je vseeno ravno ta nadgradnja tista, ki nam ponudi največje število kWh/leto, zato nadgradnjo naše sončne elektrarne izvedemo z opremo SolarEdge, opisano v tem poglavju.

3.2 Finančna analiza obstoječe elektrarne

Če nekaj dograjujemo, je najprimerneje, da si pridobimo najprej finančne podatke za obstoječe stanje. Zanima nas nekaj osnovnih informacij obstoječe elektrarne, da bomo kasneje lahko primerjali obstoječo finančno analizo s finančno analizo za nadgradnjo. Tako bomo zagotovo imeli najboljši možni vpogled, ali se nadgradnja splača, še posebej zato, ker bo DC : AC razmerje (1,865 : 1) resnično zelo netipično.

Pričakujemo določene izgube energije – porezno energijo (kWh/leto), saj je razmerje visoko. Ker gre za tako specifiko, bomo izvedli analizo tako, da bomo izračunali ne samo finančni vložek investicije na kWp montirane moči, ampak tudi ROI in stopnjo vračanja.

Moč elektrarne (kWp)	Nabavna vrednost začetne investicije z odšteto subvencijo (€)	Nabavna vrednost (€ / kWp)	Letna proizvodnja (kWh)	letna proizvodnja (kWh/kWp)	Letna proizvodnja (kWh/€)	Razmerje DC:AC
9,72	9917	1020 €/kWp	10080 kWh	1037	1,01	1,39 : 1

*Tabela 3: Finančna analiza obstoječe elektrarne
(Lastni vir)*

Iz Tabele 3 razberemo, da trenutno obstoječa elektrarna moči 9,72 kWp z inverterjem 7000 VA in DC : AC razmerjem 1,39 : 1 proizvede 10.080 kWh/leto električne energije, oziroma 1037 kWh/leto električne energije na vsak montiran kilovat elektrarne. Najpomembnejši pa je podatek, da nam vsak vložen evro na letni

ravni prinese proizvodnjo 1,01kWh električne energije. Če dodamo še ceno 0,15 €/kWh, dobimo ROI 15,15 % in stopnjo vračanja 6 let in 7 mesecev.

3.3 Finančna analiza nadgradnje elektrarne

Nadgradnjo sončne elektrarne, kot smo že omenili na koncu poglavja 3.1, bomo izvedli z SolarEdge opremo, in sicer nadgradili oziroma zamenjali bomo inverter 7.000 VA z 10.000 VA, dokupili 21 modulov 425 Wp in 21 optimizatorjev S440. Cena nadgradnje ob zmernem lastnem vložku dela vseeno znaša 4.307 €.

	Prodaja obstoječega in nakup močnejšega rabljenega inverterja	Solarni modul TrinaSolar 425Wp	Podkonstrukcija	Optimizatorji SolarEdge S440	Delo + drobni material	Strošek nadgradnje sončne elektrarne
cena /kos		95 €	30 €	42 €	500 €	
količina:	1	21	21	21	1	
vsota:	300 €	1995 €	630 €	882 €	500 €	4307 €

Tabela 4: Strošek nadgradnje sončne elektrarne
(Lastni vir)

Sedaj, ko nam je znan strošek naše nadgradnje, pa na enak način izvedemo še finančno analizo samo za nadgradnjo.

Moč elektrarne (kWp)	Nabavna vrednost dogradnje (€)	Nabavna vrednost (€/kWp)	Letna proizvodnja (kWh)	letna proizvodnja (kWh/kWp)	Letna proizvodnja (kWh/€)	Razmerje DC : AC
8,925	4307	483 €/kWp	7400 kWh	829	1,72	1,865:1

Tabela 5: Finančna analiza nadgradnje elektrarne
(Lastni vir)

Iz Tabele 5 razberemo, da nadgradnja elektrarne moči 8,925 kWp z inverterjem 10000 VA, s skupnim DC : AC razmerjem 1,865 : 1 letno proizvede dodatnih 7400 kWh električne energije oziroma 829 kWh/leto električne energije na vsak dograjen kilovat elektrarne (kWp). Letni prihranek izračunamo kot zmnožek letne proizvodnje in cene kWh (0,15 €/kWh), kar nanese 1110 €. Vsak vloženi evro v nadgradnjo na letni ravni prinese proizvodnjo 1,72 kWh električne energije in 0,258 € prihranka. Tako lahko izračunamo ROI, ki je 25,8 % in stopnjo vračanja, ki znaša 3 leta in 11 mesecev.

$$\text{Letni prihranek} = \text{Letna proizvodnja kWh} \times \text{Cena €/kWh}$$

$$\text{ROI} = \frac{\text{Letni prihranek}}{\text{Investicija}} \times 100\%$$

$$\text{Stopnja vračanja} = \frac{\text{Investicija}}{\text{Letni prihranek}}$$

Izračun pokaže, da je stopnja vračanja 3,88 let, ko pa decimalke pretvorimo v mesece, dobimo 3 leta in 10,56 meseca – zaokroženo na 3 leta in 11 mesecev.

3.4 Primerjava finančnih analiz

Za lažjo primerjavo prvotne elektrarne z nadgradnjo bomo sedaj obe tabeli združili v eno samo. Že sedaj pa je lepo vidno, da smo nadgradnjo izvedli z mnogo manjšim finančnim vložkom na kWp kot pri prvotni investiciji. V prid nam vseeno gre, da je bilo vložena nekaj lastnega dela – elektro montaža DC povezav in menjava inverterja. Večino običajnega dela pri postavitvi sončne elektrarne pa nam je bilo prihranjenega. Tako nismo niti dodajali niti spreminjali vertikalne DC povezave, DC varnostnih elementov v DC omarici, AC vodnikov, AC avtomatskih odklopnikov ter AC zaščit. Prav tako pa tudi ni bilo sprememb na merilnem mestu. Vse naštetu sorazlogi za prihranek.

Moč elektrarne (kWp)	Nabavna vrednost elektrarne (€)	Nabavna vrednost (€/kWp)	Letna proizvodnja (kWh)	letna proizvodnja (kWh/kWp)	Letna proizvodnja (kWh/€)	ROI
9,72	9917	1020 €/kWp	10080 kWh	1037	1,01	15,15 %
8,925	4307	483 €/kWp	7400 kWh	829	1,72	25,80 %

Tabela 6: Primerjava finančnih analiz
(Lastni vir)

Prav tako so na montiran kWp večje elektrarne cenejše kot pa tiste z manjšo močjo. Dodaten razlog, zakaj so večje elektrarne cenejše, je tudi uporaba dvojnih optimizatorjev, kjer en sicer malo dražji optimizator poskrbi za dva solarna modula. V našem primeru uporaba dvojnih optimizatorjev ni prišla v poštev, saj jih SolarEdge ne podpira pri uporabi inverterjev do moči 10000 VA. Vrnimo se k naši sončni elektrarni in glede na ugodne finančne rezultate same dogradnje nam ta investicija sedaj skrajšuje skupno povračilno dobo. Tega ne bomo preračunavali, ker se bomo raje posvetili specifikam, ki se je pojavila s to nadgradnjo, in sicer resnično netipičnemu DC : AC razmerju.

Elektrarne so nekoč imele razmerje 1 : 1, kasneje se je začelo pojavljati, da so povečevali DC moč do razmerja 1,2 : 1. Mi pa imamo zelo netipično razmerje in zavedamo se, da nekaj energije izgubimo – porežemo zaradi tega razmerja. Naše finančne analize so porezano energijo že upoštevale, zato lahko vsaj s finančnega vidika sklepamo, da je vse ustrezno.

4 SMOTRNOST REZANJA KONIČNE MOČI

V tem poglavju bomo preučili, ali je rezanje konične moči smotrno dejanje ali ne. Pogledali bomo, kaj pravijo proizvajalci in kakšne so konkretne številke porezane energije v našem primeru. Finančni vidik nam je že poznan, saj vemo, da se v našem primeru izide. Vseeno pa je rezanje energije oziroma odpovedovanje morebitni energiji za marsikoga lahko nesprejemljivo. S prodajalčevega vidika skoraj zagotovo neizvedljivo. Tehnično nepodkovana stranka bo morda res težko razumela, da je nekaj plačala in tega ne bo mogla izkoristiti. Nenazadnje je rezanje moči neločljivo povezano z izgubo kWh. Veliko je razlogov za in proti. Ravno to pa je tisto, kar bi v tem poglavju radi preučili, namreč ali je ali ni takšno rezanje energije smotrno dejanje. Iskali pa bomo tudi odgovore na vpliv rezanja konične moči na elektroenergetski sistem. V našem primeru pa bomo tudi finančno ovrednotili porezano energijo.

Razlogi za in razlogi proti rezanju energije:

Vidik	Razlogi ZA rezanje konične moči	Razlogi PROTI rezanju konične moči
Letna proizvodnja (kWh)	Večja, kot je količina inštalirane DC moči (Wp), večja bo letna proizvodnja kWh kljub rezanju konic.	Izgubljena – porezana energija je čista izguba.
Vršna moč – velikost soglasja (kW)	Enostavnejša in cenejša administracija, saj sprememba soglasja ni potrebna.	Vršna moč omejuje izrabo celotnega sončnega potenciala.
Neto merjenje	Ohranitev soglasja o neto merjenju, kar je velik +.	Soglasje ne dovoljuje dodajanje hranilnika energije za shranjevanje viškov energije.
Razsmernik	Razsmernik več časa deluje v optimalnem območju – razsmernik je bolje izkoriščen.	Razsmernik predstavlja fizično oviro za večjo proizvodnjo. Moduli so manj izkoriščeni.
Razporeditev proizvodnje skozi dan	Hitro pridobivanje na moči – jutranje sonce, konstantna opoldanska moč, dalj časa vztrajajoča popoldanska moč.	V idealnih dneh neizkoriščeno opoldansko sonce.
Razporeditev proizvodnje skozi leto	Večji delež leta ni rezanja konične moči in ni izgub.	Rezanje je prisotno ob dnevih z največjo osončenostjo.
Obremenitev omrežja	Manjša obremenitev omrežja, možnost priključitve večjega števila kWp v omrežje,	Energija, ki je na voljo, se ne pretvori, čeprav bi morda bila koristna v omrežju.

	konstantnejša obremenitev, manj nihanj moči – stabilnejša proizvodnja, večja moč ob slabem vremenu, število konic je manjše.	
Investicijski stroški	Dodatni moduli so relativno poceni in predstavljajo večjo število proizvedenih kWh na leto. Tudi donos vloženih sredstev je večji kljub porezani energiji.	Investicija v module, ki so slabše izkoriščeni, je slaba investicija, manjše število kWh/kWp.
Okoljski vidik	Možno precejšnje povečanje števila sončnih elektrarn. Manjša vlaganja v dogradnjo elektrarn za več obnovljive energije.	Proizvedena oprema – solarni moduli niso v polnosti izkoriščeni.
Čas nadgradnje	Možna je takojšna nadgradnja z minimalnimi stroški in brez hranilnikov, tudi ob že zasičenem omrežju..	Projekti za nadgradnje omrežij so sicer dolgotrajni in dragi, vendar nujno potrebni tudi zaradi povečanja porabe.

*Tabela 7: Razlogi za in proti rezanju energije
(Lastni vir)*

4.1 Pravila predimenzioniranja

Proizvajalec SolarEdge ima za pravila predimenzioniranja in tudi poddimenzioniranja izdelan uradni dokument, kjer opiše, kaj se sme in kaj ne. Osnovne informacije o predimenzioniranju pa vsebujejo že tehnični listi razsmernika. Naš razsmernik SE10k ima maksimalno dovoljeno DC moč 13500 Wp. Torej je maksimalno dovoljeno DC : AC razmerje 1,35 : 1. Našega primera ni neposredno omenjenega v pravilih, ga pa proizvajalec dovoljuje. Dovoljenje je bilo s strani SolarEdge dano s tem, ko je bila uspešno izdelana idejna zasnova nadgradnje v njihovem programu in hkrati ni bilo izpisanih nobenih opozoril o prekoračitvi. Program za zasnove sončnih elektrarn že v ozadju preračuna vse možne scenarije in predvidi največjo DC moč. Program je iz vnesenih podatkov usmeritve in naklona streh preračunal, da je skupna najvišja DC moč manjša od 13500 Wp. S tem je razmerje obremenitve inverterja DC : AC (1,35 : 1) še vedno ostalo neprekoračeno. Razsmernik tako, kadar je to potrebno, poreže le energijo nad 10.000 VA in do 13.500 VA. To je razvidno iz dokumenta objavljenega na spletni strani proizvajalca SolarEdge.

Opomba. Slika 12 je povzeta in prirejena po tehnični dokumentaciji proizvajalca (SolarEdge Technologies, b.l.-a).

Maximum Oversizing of SolarEdge Inverters

SolarEdge allows DC/AC oversizing depending on the inverter model.



NOTE

In all cases, refer to the applicable inverter data sheet to determine the allowed DC/AC oversizing ratio.

For all limits, the rated STC power of the modules must be used regardless of the module location, tilt, or orientation.

When using SolarEdge Designer, DC/AC oversizing is based on the maximum achieved DC power, given the site location and PV array tilt and azimuth. This allows connection of more modules in a string than possible when only using the STC specifications.

Slika 12: Prirejeno Tehnična dokumentacija Inverter DC oversizing guide (Vir: SolarEdge technologies, b.l.-a)

Program je preračunal tudi porezano energijo (slika 13) v kWh in jo prerazporedil na mesece, kjer se rezanje pojavi. Porezana energija je ovrednotena na 338 kWh na leto, kar predstavlja 1,9 % letne proizvodnje. Takoj pa se nam pojavi vprašanje, kolikšna je torej letna finančna izguba? Če količino porezane energije pomnožimo s ceno 0.15 €/kWh, dobimo znesek 50,7 € finančne izgube na leto. Vseeno pa je dobro tudi poudariti razloge, zakaj v konkretnem primeru baterijski sistem ni boljša izbira.

Če bi imeli baterijski sistem, bi poleg višje investicije imeli tudi manj kWh električne energije, saj uporaba baterijskega hranilnika povzroča dodatne energijske izgube zaradi večkratne pretvorbe energije, pri čemer je tipična izguba pretvorbe okoli 10 %. Vendar to velja le za tisto energijo, ki gre skozi baterijo, in ne za celotno energijo. Izguba je za celotno proizvedeno energijo ocenjena na okoli 4 % (SolarEdge technologies, b.l.-d). To pa je v primerjavi z našo porezano energijo dvakrat večja izguba.



Slika 13: Prikaz izračuna porezane energije (vir: povzeto po SolarEdge technologies, b.l.)

Predvidoma bo elektrarna obratovala 20 let. Finančna izguba zaradi porezane energije bo v 20 letih znašala preračunano 1014 € brez obresti in brez spremembe cen energije. Pravzaprav bi lahko resnično zelo hitro zaključili, da ni smotrno vlagati v investicijo, ki bi nam izgubo izničila. S finančnega vidika je izguba povsem smiselna. Smiselna je tudi že zaradi tega, ker nam je na podlagi te izgube omogočena proizvodnja preostalih 7.400 kWh letno. S tem, ko smo finančno izgubo osmislili, se lahko vrnemo k Tabeli 7 in preletimo vidike proti rezanju energije še enkrat.

Sedaj vidimo, da nam od vseh argumentov proti ostane le še zadnji argument, ki govori o nadgradnji omrežja že zaradi povečanja porabe. Strinjamo se, da je omrežje vseskozi potrebno nadgrajevati in vzdrževati, nas pa veseli dejstvo, da je bilo v našem primeru možno povečati proizvodnjo iz obnovljivih virov za 73,4 %.

Konkretno smo proizvodnjo povečali z 10.080 kWh/leto na 17480 kWh/leto. Pri nadgradnji smo obdržali soglasje o neto merjenju, izognili smo se dragi naložbi v baterije, investicijo smo lahko izvedli nemudoma, brez dolgih dokumentacijskih postopkov, omrežja nismo dodatno obremenili, investicijo pa smo izvedli z nižjimi stroški na kWp in celo vložen denar nam prinese več kWh na leto kot prvotna investicija v sončno elektrarno.



*Slika 14: Nadgradnja domače sončne elektrarne
(Lasten vir)*

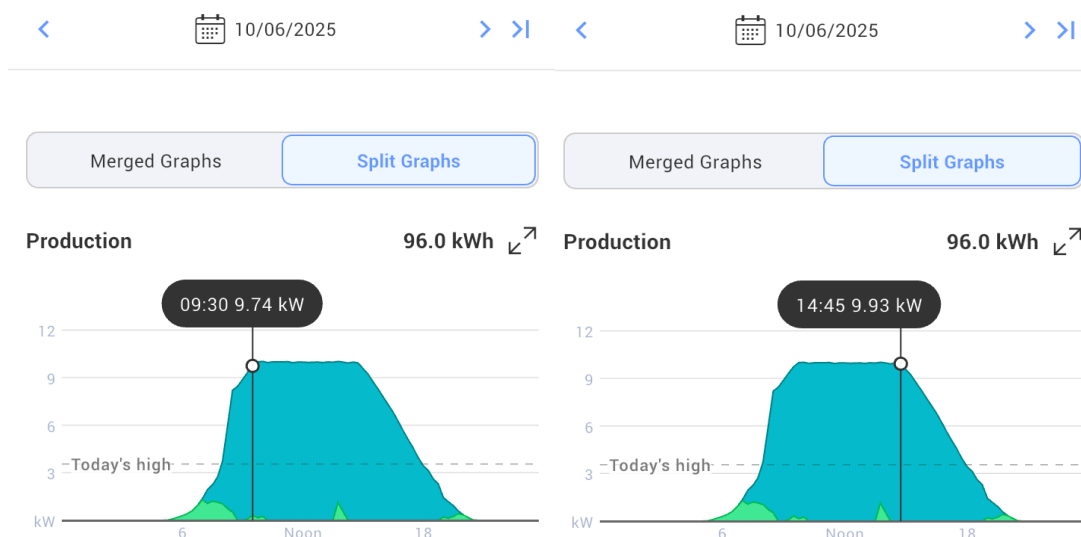
4.2 Vpliv na elektroenergetski sistem

Če želimo prenosno moč povečati samo za 50 %, to nemalokrat pomeni menjave vodnikov, nove trase, dodajanje dodatnih vodnikov, nadgradnje RTP, nadgradnje stikališč, gradnjo dodatnih daljnovodov in nenazadnje še kompleksnejše omrežje. Ker pa smo se mi držali dogovorjene limite in smo porezali vršno moč, smo količino obnovljive energije uspeli na letni ravni povečati za 73,4 %, vpliv na omrežje pa smo

povečali le do dogovorjene limite, to je 13,6 kW. Vpliv na elektroenergetsko omrežje smo tako ohranili na sprejemljivi ravni, saj smo dodatno proizvedeno električno energijo v veliki meri oddali v omrežje v dopoldanskem času in tako nismo ustvarjali novih večjih koničnih moči v omrežju. Naše obremenitve omrežja so se povečale predvsem v dopoldanskem času (slika 15), saj okoli 9.30 dopoldan že dosegamo polno moč razsmernika 10.000 VA. Nakar s takšno močjo vztrajamo okvirno do 14.45.

Težko pa rečemo, da smo s tem omrežje obremenili prekomerno in da bo zaradi naše večje proizvodnje potrebna hitrejša nadgradnja omrežja, celo nasprotno, predvidevamo, da bi z dvigovanjem inštalirane moči sončnih elektrarn (Wp) in držanjem se dogovorjene limite iz soglasja, obstoječe sončne elektrarne v omrežju lahko proizvedle tudi do 50 % več obnovljive energije. V omrežju s tem ne bi povzročili novih večjih vršnih moči, ampak le konstantnejšo obremenitev in večjo količino pretočene energije. To tezo bi bilo morda za tistega, ki bere to diplomsko delo in ga zanima področje obremenitev omrežij s sončnimi elektrarnami, smiselno še podrobno preučiti. Izpostavljamo pa še en vidik, ki se je v našem primeru izkazal kot zelo pozitiven, in to je usmeritev strehe (severovzhod – jugozahod).

Če bi bila streha obrnjena preveč idealno na čisti jug, bi analiza skoraj zagotovo pokazala, da razširitev na severno streho ne bi bila rentabilna. Od naše strehe pa bi bila še primernejša streha tista, kjer je slame sever-jug, usmeritev same kritine pa na vzhod in zahod. Na sliki 15 lahko vidimo, kako sistem poreže konično moč in kako največjo moč sončna elektrarna doseže že ob 9.30 in tako vztraja do 14.45. Podatki so za 10. 6. 2025, ko smo imeli sončen dan brez oblakov.



Slika 15: Rezanje konične moči po nadgradnji
(Lastni vir)

4.3 Povzetek raziskave

Rezanje konične moči pri domači sončni elektrarni z neto merjenjem predstavlja dober kompromis med tehnično in regulativno omejitvijo ter ekonomsko optimizacijo sistema. Kljub temu da pride do izgube dela energije v času konic, povečanje inštalirane moči solarnih modulov (Wp) praviloma vodi do višje letne proizvodnje električne energije. Z ohranitvijo obstoječega soglasja za priključno moč nam je takšna rešitev omogočila takojšno nadgradnjo, boljšo izrabo razsmernika, večjo količino proizvedene obnovljive energije (+73,4 %) tudi v obrobnih delih dneva po ekonomsko zelo dostopni ceni.

5 ZAKLJUČKI

Cilj diplomske naloge je bil nadgraditi obstoječo domačo sončno elektrarno na način, ki omogoča čim večjo letno proizvodnjo električne energije, hkrati pa zagotavlja tehnično in ekonomsko smotrnost nadgradnje ter zanesljivo rezanje konične moči kljub uporabi različnih tehnologij. Pomemben del ciljev je bil tudi ovrednotenje porezane energije ter utemeljitev, ali so takšne izgube sprejemljive z vidika investitorja in hkrati koristne za elektroenergetsko omrežje.

V okviru diplomske naloge smo analizirali različne možnosti nadgradnje domače sončne elektrarne z različno razpoložljivo opremo ter ugotovili, da je sistem mogoče nadgraditi za dodatnih 8,9 kWp nazivne moči, kar pomeni povečanje letne proizvodnje električne energije za približno 7.400 kWh oziroma 73,4 %. Nadgradnja je bila izvedena na stroškovno učinkovit način, saj so poleg dogradnje DC polja (fotovoltaični moduli, optimizatorji in nosilna konstrukcija) dodatni stroški obsegali zgolj zamenjavo obstoječega 7.000 VA razsmernika z razsmernikom z močjo 10.000 VA.

Z uporabo razsmernika kot omejevalnika oddane moči na AC strani sistema smo zagotovili, da vgrajena oprema ne presega dovoljene oddaje električne energije v elektroenergetsko omrežje. Na ta način smo uspešno rešili problem komunikacije med razsmerniki različnih proizvajalcev ter vzpostavili zanesljivo delujoč sistem energetske omejitve. Takšna rešitev je omogočila ohranitev obstoječega soglasja za letno neto merjenje ter zagotovila stabilno in predvidljivo delovanje sistema. Porezano konično moč smo ovrednotili tako količinsko (v kWh) kot tudi finančno (v €). Izračunali smo kazalnike vračanja investicije (ROI) in dobo vračanja, tako za prvotno sončno elektrarno kot tudi za izvedeno nadgradnjo. Rezultati so pokazali, da je investicija v nadgradnjo kljub pojavu porezane energije ekonomsko ugodnejša od prvotne zasnove sistema. Čeprav smo glede na visoko razmerje DC : AC, ki znaša 1,865 : 1, pričakovali izgube med 4 in 6 %, se je izkazalo, da znaša dejanska količina porezane energije le 1,9 %, kar je bilo pozitivno presenečenje.

Dodatni prihranki so bili doseženi zaradi enostavnosti nadgradnje, saj so vse ostale AC in DC komponente ter ožičenje ostali nespremenjeni, prav tako pa ni bilo potrebe po spremembi soglasja za priključitev, kar je zmanjšalo administrativne stroške. Letna izguba zaradi porezane energije je bila ovrednotena na približno 50 €, pri čemer smo ugotovili, da bi bila kakršnakoli dodatna investicija z namenom izogibanja tej izgubi ekonomsko neupravičena. Kljub tej izgubi sistem zagotavlja večjo letno proizvodnjo električne energije na vloženi evro v primerjavi s prvotno zgrajeno sončno elektrarno.

V nalogi smo analizirali tudi argumente za in proti rezanju konične moči ter njihov vpliv na elektroenergetski sistem. Večina argumentov proti rezanju konične moči je

bila finančne narave in se je ob podrobnejši analizi izkazala za manj pomembno. Edini preostali argument proti se nanaša na nujnost dolgoročne nadgradnje elektroenergetskega omrežja zaradi naraščajoče porabe električne energije. Na drugi strani so argumenti v prid rezanju konične moči prevladali tako po številu kot po pozitivnem vplivu na stabilnost elektroenergetskega omrežja. V tem kontekstu se je oblikovala tudi teza, da bi bilo z nadgradnjo obstoječih sončnih elektrarn brez povečevanja priključne moči ter z uporabo rezanja konične moči mogoče povečati proizvodnjo električne energije iz sončnih virov tudi do 50 %.

6 LITERATURA IN VIRI

Enphase. (b.l.). *IQ7A/IQ7 Microinverters data sheet*. Pridobljeno 6. 1. 2026 z naslova <https://enphase.com/en-in/download/iq7a-iq7-microinverter-data-sheet>

GridX. (b.l.). *GridX AI platform*. Pridobljeno 12. 1. 2026 z naslova <https://www.gridx.ai>

Manualslib. (b.l.). *Iskraemeco Me382 Manual*. Pridobljeno 12. 3. 2026 z naslova <https://www.manualslib.com/manual/1587602/Iskraemeco-Me382.html>

SolarEdge Technologies. (b.l.-a). *Inverter DC oversizing guide*. Pridobljeno 19. 1. 2026 z naslova https://knowledge-center.solaredge.com/sites/kc/files/inverter_dc_oversizing_guide.pdf

SolarEdge Technologies. (b.l.-b). *Power optimizers – products and safety features*. Pridobljeno 14. 1. 2026 z naslova <https://www.solaredge.com/products/power-optimizer>

SolarEdge Technologies. (b.l.-c). *SolarEdge Designer* [Spletno orodje za načrtovanje PV - sistemov]. Pridobljeno 14. 1. 2026 z naslova <https://www.solaredge.com/products/installer-tools/designer>

SolarEdge Technologies. (b.l.-d). *SolarEdge Home Battery - Datasheet*. Pridobljeno 17. 1. 2026 z naslova <https://knowledge-center.solaredge.com/sites/kc/files/se-solaredge-home-battery-48V-datasheet-eng-row.pdf>

Uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije. (2015). *Uradni list Republike Slovenije, št. 97/2015*. <https://www.uradni-list.si/pdf/2015/Ur/u2015097.pdf>

Uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije. (2022). *Uradni list Republike Slovenije, št. 43/2022*. <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2022-01-0952>

Uredba o spremembah Uredbe o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije. (2019). *Uradni list Republike Slovenije, št. 17/2019*. <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2019-01-0700>

Uredba o spremembah Uredbe o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije. (2020). *Uradni list Republike Slovenije, št. 197/2020*. <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2020-01-3558>